

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE

INGENIERÍA EN ALIMENTOS

TRABAJO DE GRADUACIÓN



**“DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DE ANTIOXIDANTE
TBHQ EN UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE EN UNA
EMPRESA ELABORADORA DE FRITURAS EN CIUDAD DE GUATEMALA”**

FRANCISCO JOSÉ LÓPEZ MÉRIDA

200841329

Asesora: Licda. Gladys Calderón

Asesora Adjunta: Inga. María Isabel Aguilera

Mazatenango, Abril 2014

COORDINACIÓN ACADÉMICA

Coordinador Académico

Dr. Luis Gregorio San Juan Estrada

Coordinador Carrera Administración de Empresas

MSc. Rafael Armando Fonseca Ralda

Coordinador Área Social Humanista

Lic. José Felipe Martínez Domínguez

Coordinador Carrera Trabajo Social

Dr. Ralfi Obdulio Pappa Santos

Coordinador Carreras de Pedagogía

MSc. Nery Edgar Saquimux Canastuj

Coordinadora Carrera Ingeniería en Alimentos

MSc. Gladys Floriselda Calderón Castilla

Coordinador Carrera Agronomía

MSc. Erick Alexander España Miranda

Encargada Carrera Ciencias Jurídicas y Sociales, Abogado y Notario

Licda. Tania María Cabrera Ovalle

Encargado Carrera Gestión Ambiental Local

MSc. Celso González Morales

CARRERAS PLAN FIN DE SEMANA DEL CUNSUROC

Encargado de las carreras de Pedagogía

Lic. Manuel Antonio Gamboa Gutiérrez

Encargada Carrera Periodista Profesional y Licenciatura en Ciencias de la Comunicación

MSc. Paola Marisol Rabanales

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario del Suroccidente

Dr. Carlos Estuardo Gálvez Barrios

Rector

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

Secretario General

Miembros del Consejo Directivo del Centro Universitario del Suroccidente

Lic. José Alberto Chuga Escobar

Presidente

Representantes Docentes

Dra. Alba Ruth Maldonado de León

Secretaria

Ing. Agr. Luis Alfredo Tobar Piril

Vocal

Representante Graduado del CUNSUROC

Licda. Mildred Gricelda Hidalgo Mazariegos

Vocal

Representantes Estudiantiles

Br. Cristian Ernesto Castillo Sandoval

Vocal

PEM. Carlos Enrique Jalel de los Santos

Vocal



Acto que dedico a:

Mis padres

Por el apoyo durante este camino, sus consejos, confianza y esfuerzo para que lograra este objetivo.

Hermanos y familia

Por su apoyo y cariño.

Mis amigos

Que confiaron y estuvieron a mi lado.

Mi colega

Ing. Jessica Molina por su apoyo incondicional, paciencia, persistencia y gran cariño.



Especiales agradecimientos a:

Mi Asesora

Licda. Gladys Calderón Castilla por su apoyo, confianza y exigencia durante la carrera y el trabajo de graduación.

Mis catedráticos

Que me brindaron los conocimientos que hoy me abren nuevas oportunidades en la vida profesional.

El Amigo

T.U. Alejandro Martínez por brindarme su amistad y ayuda durante estos años, a sus padres y familia por abrirme las puertas de su hogar en todo momento.

Los Compañeros

Ronald, Daniel, Angela, Manuel, Karina, Giovanna, Gaby, Julio y Lorena por su amistad y apoyo.

ÍNDICE

	Página
Resumen	1
Abstract	2
Introducción	3
1. Planteamiento del problema	4
2. Justificación	5
3. Objetivos	6
3.1 General.....	6
3.2 Específicos	6
4. Hipótesis	7
5. Marco teórico	8
5.1. Aceite.....	8
5.1.1. Aceite de fritura.....	8
5.2. Reacciones de degradación del aceite	9
5.3. Antioxidantes	10
5.4. Prueba estadística	11
6. Metodología	13
6.1. Recursos Humanos	13
6.2. Recursos Institucionales.....	13
6.3. Recursos Económicos	13
6.4. Recursos Materiales.....	13
6.4.1. Materiales	13
6.4.2. Equipo.....	13
6.4.3. Procedimiento	14
6.4.3.1. Estabilización del aceite en un sistema de almacenamiento	14
7. Resultados y Discusión de Resultados	15
8. Conclusiones	21

9. Recomendaciones	22
10. Bibliografía	23
11. Glosario	25
12. Anexos	27
12.1. Método de determinación del antioxidante TBHQ	27
12.2. Método de determinación de ácidos grasos libres	28
12.3. Rediseño de sistema de almacenamiento de aceite	29
12.3.1. Marco Teórico.....	29
12.3.1.1. Diseño de equipo.....	29
12.3.1.2. Materiales de construcción	30
12.3.1.3. Acero inoxidable	31
12.3.1.4. Diseño de tanques.....	31
12.3.1.5. Diseño higiénico de bombas.....	32
12.3.1.6. Diseño higiénico de válvulas	33
12.3.2. Cálculos para el rediseño del sistema de almacenamiento	34
12.3.3. Discusión	35
12.3.4. Sistema de almacenamiento de aceite	37

RESUMEN

Este trabajo de investigación se realizó con el objetivo principal de determinar la concentración óptima de TBHQ a utilizar en el aceite en un sistema de almacenamiento de una planta elaboradora de frituras en Ciudad Guatemala. El aceite es uno de los insumos de mayor valor para la industria de frituras, tanto por la cantidad consumida como por su precio por kilogramos.

El TBHQ es el antioxidante de mayor uso en aceite de fritura, ya que está comprobado que con éste se obtienen los mejores resultados en cuanto a la estabilidad del aceite durante su almacenamiento.

Se realizó una prueba experimental de cinco diferentes concentraciones de TBHQ en aceite de palma libre de antioxidantes para observar el comportamiento de las diferentes concentraciones. Se almacenó en condiciones controladas durante 14 días y se determinó su degradación por medio del método de ácidos grasos libres producidos durante este tiempo.

Se pudo observar que la concentración de 0 ppm mostró una degradación desde el inicio de la prueba, demostrando la necesidad del uso de antioxidantes en el aceite durante su almacenamiento. La concentración de 50 ppm no muestra una degradación estadísticamente significativa con respecto a las 100 ppm. Sin embargo, en el día 14 se pudo observar que la acidez sobrepasa el límite aceptado según el criterio de la empresa (0.07%). La muestra de 150 ppm se comportó de la misma manera que la concentración de 100 ppm por lo que esta fue descartada del análisis estadístico, esto debido a que se buscaba conocer la menor concentración necesaria para estabilizar el aceite durante el tiempo de almacenaje.

La concentración de 100 ppm, que no muestra diferencia estadísticamente significativa con respecto a las demás, fue elegida como la concentración óptima de acuerdo a los resultados obtenidos ya que logró la misma estabilidad que la concentración de 200 ppm, máxima concentración permitida por el Reglamento Técnico Centroamericano.

ABSTRACT

This research was conducted with the main objective of determining the optimal concentration of TBHQ to be used in an oil storage system in a snacks processing plant in Guatemala City. Frying oil is one of the most valuable raw materials in the snack industry, both for its price and quantity used.

TBHQ is the most used antioxidant in frying oil, since it has the best results in terms of the stability of oil during storage.

The experiment was conducted adding five different concentrations of TBHQ in palm oil with no antioxidant. These were stored under controlled conditions for 14 days, and its degradation was measured by the method of free fatty acids produced during this time.

The concentration of 0ppm showed degradation from the beginning of the test, demonstrating the need of antioxidants in oil during storage. The 50ppm concentration shows no statistically significant degradation compared with 100ppm. However, on day 14 it was observed that the acidity exceeds the limit accepted at the discretion of the company (0.07 %). The sample of 150 ppm behaved in the same way that the concentration of 100 ppm so this was dropped from the statistical analysis, because it sought to know the lowest concentration necessary to stabilize the oil during storage time.

The concentration of 100 ppm, which shows no statistically significant difference from the others, was chosen as the optimal concentration according to the results as it achieved the same stability as the concentration of 200 ppm, maximum concentration permitted by the Reglamento Técnico Centroamericano.

INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación se realizó en una empresa elaboradora de frituras en la Ciudad de Guatemala. Una fritura es un alimento elaborado a base de maíz, trigo y papa. Es llamada así por el proceso de cocción al cual es sometido para su elaboración, el freído.

En la industria de frituras la materia prima más crítica para el proceso es el aceite por el alto costo, cantidad utilizada, degradación durante el almacenamiento y el proceso. Estos factores inciden en la importancia de poseer un sistema adecuado que evite un incremento de la acidez del aceite antes de utilizarlo.

El aceite sufre reacciones de degradación que aumenta su acidez durante su almacenamiento y el proceso. La degradación del aceite es inevitable durante el proceso de fritura, pero durante el almacenamiento si es posible reducir su degradación. Al tener un aceite con menor porcentaje de acidez en el proceso de fritura, se puede elaborar una mayor cantidad de producto, mejorando así la productividad de la planta. A partir de este fundamento nace la importancia de esta investigación.

Se trabajó en la estabilización del sistema de almacenamiento mediante la adición de antioxidantes sintéticos (TBHQ, Ter - butil hidroquinona) para evitar la degradación del aceite, así como determinar la concentración óptima para obtener los resultados deseados de estabilidad del aceite durante el tiempo de almacenamiento promedio que se maneja en la empresa. Esto se realizó tomando un aceite procesado sin aditivos y se le adicionó cinco concentraciones conocidas de antioxidante. Posteriormente se midió la formación de ácidos grasos libres durante el tiempo promedio de almacenamiento en planta. La menor concentración que presentó mayor estabilidad será solicitada a los proveedores para optimizar costos y reducir los riesgos de superar los límites permitidos de antioxidantes en aceites.

Según los resultados de la prueba experimental se determinó que la concentración de 100 ppm no muestra diferencia estadísticamente significativa con respecto a la concentración de 200 ppm, la cual es la máxima permitida por el Reglamento Técnico Centroamericano y no sobrepasa el 0.07% de ácidos grasos libres durante 14 días de almacenamiento. Por esta razón se concluye que la muestra de 100 ppm es la concentración óptima de antioxidante TBHQ para estabilizar el aceite de palma durante el tiempo almacenamiento.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El aceite es uno de los insumos de más alto costo para una empresa de fritura no solo debido al aumento en el precio de esta materia prima, sino también a la cantidad utilizada diariamente en proceso.

El aceite sufre varias reacciones de degradación que son sumamente difíciles de detener. Las principales reacciones de degradación son: Auto oxidación, causada por el oxígeno, Lipólisis debida a la acción de enzimas e Hidrólisis, la cual es causada básicamente por un aumento de humedad en el aceite.

Estos diferentes tipos de degradación afectan directamente la productividad y la calidad del producto, convirtiéndose en una de las mayores pérdidas para la empresa. A pesar que la degradación no se detiene en su totalidad, se puede llegar a disminuir en porcentajes aceptables con un óptimo almacenamiento y distribución, que incluye la utilización de antioxidantes y un diseño adecuado de los tanques.

El aceite al sufrir una degradación en su almacenamiento presenta un aumento de los ácidos grasos libres, peróxidos y compuestos aromáticos los cuales son indicadores directos de la calidad del aceite. Si el aumento de ácidos grasos libres es significativo, se reduce el tiempo de fritura, produciendo así una menor cantidad de alimento por determinada cantidad de aceite utilizado.

Una forma de prevenir la degradación de aceite en su almacenamiento es el uso de antioxidantes sintéticos (TBHQ), los cuales en altas concentraciones son nocivos a la salud del consumidor, por lo tanto se desea buscar una concentración baja que mantenga estable el aceite durante el período de almacenamiento, cumpliendo así regulaciones internacionales con las cuales se rige la empresa donde se realiza la investigación.

Por consiguiente surgió la siguiente interrogante:

¿ES POSIBLE LA DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DE TBHQ EN UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE EN UNA EMPRESA ELABORADORA DE FRITURAS EN CIUDAD DE GUATEMALA?

2. JUSTIFICACIÓN

El aceite es una materia prima utilizada, entre otros componentes, en la industria de frituras como medio de cocción, así mismo, es el precursor de reacciones físicas dentro del alimento, las cuales confieren características sensoriales únicas.

Para llevar a cabo el proceso de fritura de estos productos, el volumen de aceite utilizado es significativo debido a que una parte se transfiere al alimento y otra parte se pierde dentro del proceso. Los aceites también sufren una degradación que propicia la oxidación de lípidos y esto confiere notas amargas en el producto, por lo que a cierto nivel de degradación debe descartarse el aceite. El alto volumen de aceite que es utilizado se traduce en altos costos, por lo que es de suma importancia manejar en óptimas condiciones de almacenamiento de este insumo.

El aceite también puede sufrir reacciones de degradación si se tiene un almacenamiento incorrecto, lo cual disminuye el tiempo en que puede ser utilizado en el proceso de fritura. Existen varios factores que pueden afectar la calidad del aceite durante su almacenamiento, entre ellos: presencia de metales, luz solar, oxígeno, humedad, enzimas y temperatura.

Por todo esto es importante la estabilización del mismo por medio de antioxidantes como el TBHQ y contar con un diseño adecuado de almacenamiento de aceite.

En el caso del TBHQ es importante mantener la calidad del aceite y evitar la degradación, esto sin sobrepasar la concentración máxima permitida por el Reglamento Técnico Centro Americano de 200 partes por millón (ppm).

Lo mencionado anteriormente logra aumentar la vida útil del aceite durante su almacenamiento lo que hará que la empresa obtenga mayor producción con una menor cantidad de aceite y ayuda a obtener una mejor calidad en el producto.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

- 3.1.1 Determinar la concentración óptima de antioxidante TBHQ en un sistema de almacenamiento de aceite en una empresa elaboradora de frituras en ciudad de Guatemala.

3.2 Objetivos Específicos

- 3.2.1 Establecer la concentración óptima de antioxidante TBHQ a agregar para evitar la oxidación del aceite en su almacenamiento.
- 3.2.2 Determinar la cantidad de días de almacenamiento de aceite conservando una acidez máxima de 0.07 %.
- 3.2.3 Proponer un rediseño teórico de un sistema de almacenamiento óptimo para el aceite de fritura.

4. HIPÓTESIS

No es posible determinar la concentración óptima de TBHQ en un sistema almacenamiento de aceite en una empresa elaboradora de frituras en ciudad de Guatemala.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Aceite

5.1.1. Aceite de fritura

En los procesos de fritura, el aceite es el vehículo de transferencia de calor entre el equipo y el alimento. En la mayor parte de procesos industriales se hace la fritura por inmersión, donde existe una transferencia de calor del aceite al alimento y el alimento se encuentra parcial o totalmente sumergido. Numerosas reacciones químicas y físicas ocurren en el producto durante este proceso, las cuales le brindan las características al producto final. (Stauffer, 1996)

Durante la fritura, el agua se separa del producto que se está friendo y es transferido a la atmósfera como vapor. Adicionalmente, una cierta cantidad de aceite de fritura pasa al producto. Estos dos procesos aparentemente sencillos, evaporación y absorción, son claves al determinar el proceso de fritura y la calidad o deficiencia de las características del producto final. (Stauffer, 1996)

Cuando el agua migra fuera del alimento deja espacios en la superficie del mismo y es ahí cuando se dirige hacia adentro una pequeña capa de aceite. El aceite se mantiene en el producto luego de sacarlo del freidor y forma parte importante del producto final. Por lo mismo, las características del aceite de fritura son aspectos muy importantes de la calidad del producto. Si la cantidad de sólidos en el aceite tienen puntos de fusión mayores a la temperatura del cuerpo, le va a dar características sensoriales parecidas a la cera. Por otra parte, si los aceites de fritura tienen puntos de fusión muy por debajo de la temperatura corporal, el producto se verá grasoso y aceitoso. (Stauffer, 1996)

Las grasas y aceites utilizados para los productos fritos deben tener también propiedades que son importantes para el proceso. Tienen que tener un alto punto de humeo y una excelente estabilidad ante la hidrólisis y la oxidación a temperaturas altas. (Matz, 1984)

En la mayor parte de procesos, los aceites de fritura contribuyen al sabor del producto final. Por esta razón, en el freidor es importante reemplazar cada cierto tiempo pequeñas cantidades de aceite viejo por aceite nuevo y así alcanzar un estado de equilibrio. Esto produce características satisfactorias en el producto final. (Matz, 1984)

Durante el proceso las grasas se separan en ácidos grasos libres, glicerinas, etc. por la humedad del producto, el oxígeno del aire y las altas temperaturas. Una excesiva degradación se evidencia en el aceite por una alta cantidad de humo,

coloraciones oscuras y formación de espumas en la superficie. La metil silicona es utilizada para reducir el humeo, la filtración para reducir partículas que degradan y dan color al aceite, pero esto no retarda la oxidación y la formación de ácidos grasos libres. Así mismo, iones de cobre aceleran la rancidez oxidativa, por lo que se debe evitar el contacto de los aceites con utensilios de cobre, hierro y bronce. (Matz, 1984)

5.2. Reacciones de degradación del aceite

Los aceites, los cuales están formados de triglicéridos y contienen ácidos grasos insaturados, están sujetos a varias reacciones químicas de degradación las cuales cambian sus características. La tasa de degradación aumenta al doble por cada 10 °C que se aumente la temperatura, por lo que reducir el calentamiento de los aceites cuando estos no son utilizados aumenta su tiempo de vida. (Stauffer, 1996)

- Hidrólisis: El agua, introducida al aceite por parte del alimento, causa la hidrólisis de las uniones de los ácidos grasos, produciendo diglicéridos, monoglicéridos y ácidos grasos libres. Estos últimos dos son emulsificantes, los cuales, son promotores de la hidrólisis. La reacción de hidrólisis es promovida por los compuestos alcalinos por lo que el freidor debe ser enjuagado con un ácido (vinagre) y agua, luego de ser sometidos a una limpieza con compuestos alcalinos. (Stauffer, 1996)
- Oxidación: La oxidación de los dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados lideran una variedad de reacciones de degradación en el aceite las cuales forman compuestos polares: aldehídos y cetonas reaccionan con las proteínas de los alimentos e incrementan las reacciones de color en el alimento frito. El oxígeno del aire es introducido de varias maneras: (Stauffer, 1996)
 - Turbulencia, cuando el aceite es agregado a los tanques o freidores.
 - Salpicaduras, cuando es agregado nuevo aceite o alimento.
 - Aeración, por parte del sistema de filtración o bombeo.
 - Difusión, a través de la superficie del aceite.

Los iones metálicos (hierro, cobre y manganeso) son catalizadores de reacciones de oxidación. El cobre principalmente es el más reactivo de estos, por lo que nunca debe ser utilizado en los sistemas de almacenamiento o equipo de fritura. (Stauffer, 1996)

- Polimerización: Los ácidos grasos insaturados del aceite pueden ser aglomerados por reacciones químicas (polimerización). Las cadenas

polinsaturadas pueden pasar directamente a su polimerización. Cuando la reacción continua, estos compuestos forman un barniz que se acumula en las superficies de los equipos de fritura, esto aumenta la creación de espumas en el proceso de fritura, la polimerización también es catalizado por iones metálicos. (Stauffer, 1996)

- Humeo: Cuando la concentración de ácidos grasos libres en los freidores aumentan, la temperatura de humeo y el punto de ignición disminuye. Los ácidos grasos libres son volátiles y debido a esto entre una mayor degradación y mayor sea la concentración de estos compuestos existe un mayor humeo del freidor y aumenta el peligro de incendio del freidor. Para mantener estos puntos peligrosos controlados, se debe de mantener el aceite con la menor degradación posible. (Stauffer, 1996)

5.3. Antioxidantes

Se conoce que existe una gran variedad de snacks o frituras, y en todas ellas existe algo en común; contienen aceite en su composición. Estos aceites están sujetos a reacciones de degradación oxidativa e hidrolítica, las cuales producen olores y sabores indeseados en el producto. (Matz, 1984)

Los antioxidantes son compuestos que retrasan la degradación durante el almacenaje del aceite y el aceite que contiene los alimentos fritos. Los antioxidantes naturales se encuentran en los aceites los cuales no han sido tratados (refinados), como la manteca de coco, y una gran variedad de compuestos pueden ser agregados para cumplir con este propósito. (Matz, 1984)

La susceptibilidad de los aceites y grasas a la degradación está ligado a la cantidad de compuestos insaturados que contienen, los aceites poliinsaturados son muy reactivos, mientras que los compuestos saturados son muy estables ante la oxidación. (Matz, 1984)

La humedad y las enzimas son causantes de la rancidez hidrolítica, sin embargo estos pueden ser fácilmente controlados por la inactivación de las enzimas con temperatura, disminuir la humedad en el alimento y disminuir la temperatura en el almacenaje. Estas reacciones hidrolíticas son controladas en los procesos de fritura, ya que se eleva la temperatura por encima de los 100 °C. (Matz, 1984)

Una gran variedad de investigaciones han sido definidas para la encontrar sustancias que retarden la degradación de los aceites y que cumplan con las regulaciones para los aditivos alimenticios. En la actualidad solo cuatro compuestos son utilizados como antioxidantes en la industria alimentaria, estos

son el Butilhidroxianisol (BHA), Butilhidroxitolueno (BHT), Terbutilhidroquinona (TBHQ) y el Propilgalato (PG). También es agregado el ácido cítrico y el ácido fosfórico para actuar en sinergia con los compuestos antioxidantes, estos son compuestos quelantes de los iones de cobre y hierro pero estos no trabajan directamente como compuestos que atrasan la oxidación. (Matz, 1984)

El TBHQ es un antioxidante relativamente nuevo el cual fue aprobado por la FDA para su uso en alimentos, la concentración máxima permitida de antioxidante en los aceites es de 120 ppm. Por el momento este compuesto es el que ha mostrado mayor estabilidad para alimentos a base de cereales y frituras. (Matz, 1984)

Los compuestos antioxidantes son capaces de erradicar los radicales libres mientras se forman, lo cual retrasa la degradación del aceite, sin embargo es importante mencionar que los antioxidantes no pueden revertir la degradación oxidativa que ya ocurrió. (Matz, 1984)

5.4. Prueba de Estadística

El procedimiento para determinar si existen diferencias significativas entre varias poblaciones o grupos se llama Análisis de Varianza, y se utilizan las letras ANOVA por Analysis of Variance, en inglés. ANOVA es un nombre genérico y se usa para una variedad inmensa de modelos de comparación de medias, también conocido como diseño de experimentos. (Universidad de Talca, 2013)

El análisis de varianza es similar al análisis de regresión y en realidad los dos pertenecen a la gran familia de los modelos lineales. Los modelos lineales se caracterizan por investigar la relación entre una variable respuesta cuantitativa y una o más variables explicatorias. Sin embargo el análisis de varianza difiere del análisis de regresión en que en el ANOVA las variables explicatorias son cualitativas o factores. (Universidad de Talca, 2013)

El análisis de varianza se define como una técnica en la que la variabilidad de un conjunto de datos se divide en varios componentes y cada uno de ellos se asocia a una fuente específica de variación, de manera que durante el análisis es posible encontrar la magnitud con la que contribuye cada una de esas fuentes en la variación total. (Universidad de Talca, 2013)

El test estadístico del ANOVA es la razón entre dos medidas de variación de los datos muestrales. El test estadístico F compara la variación entre los promedios de los grupos con la variación natural dentro de los grupos. Formalmente estas dos medidas de variación se llaman medias cuadráticas, así en el numerador

tendemos la media cuadrática entre los grupos (MCE) y en el denominador la media cuadrática dentro de los grupos (MCD). (Universidad de Talca, 2013)

$$F = \frac{\text{variabilidad ENTRE las medias muestrales}}{\text{variabilidad DENTRO de las muestras}} = \frac{MCE}{MCD}$$

$$MCE = \frac{SCE}{k - 1}$$

$$\begin{aligned} SCE &= n_1(\bar{y}_1 - \bar{y})^2 + n_2(\bar{y}_2 - \bar{y})^2 + \dots + n_k(\bar{y}_k - \bar{y})^2 = \sum_{\text{grupos}} n_i(\bar{y}_i - \bar{y})^2 \\ &= \sum_{\text{grupos}} (\text{tamaño muestra grupo})(\text{media muestral grupo} - \text{media muestral conjunta})^2 \end{aligned}$$

$$MCD = \frac{SCD}{n - k}$$

$$\begin{aligned} SCD &= (n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2 + \dots + (n_k - 1)s_k^2 = \sum_{\text{grupos}} (n_i - 1)s_i^2 \\ &= \sum_{\text{grupos}} (\text{tamaño muestral grupo} - 1)(\text{varianza muestral grupo}) \end{aligned}$$

6. METODOLOGÍA

6.1. Recursos Humanos

- T.U. Francisco López Mérida
- Asesor principal: Licda. Gladys Calderón Castilla
- Asesor adjunto: Inga. María Isabel Aguilera

6.2. Recursos Institucionales

- Batería de tanques de almacenamiento de aceite, Almacén “Alimentos, S.A.”

6.3. Recurso Económicos

Alimentos S.A. brindará el apoyo necesario de los gastos de los análisis experimentales: químicos de laboratorio, materia prima, etc.

6.4. Recursos Materiales

6.4.1. Materiales

Alimentos S.A. proveerá los recursos materiales, dentro de los que se encuentran:

- Aceite de fritura
- Antioxidante TBHQ
- Reactivos de laboratorio (hidróxido de sodio 0,1N, alcohol etílico 95 %, fenolftaleína, metil amina 40%)

6.4.2. Equipo

- Espectrofotómetro Merk Long 500nm
- Estufa con agitador magnético.
- Plancha agitadora.
- Balanza electrónica Mettler-Toledo

6.4.3. Procedimiento

6.4.3.1. Estabilización del aceite en un sistema de almacenamiento

- **Concentración de TBHQ óptima**

- 1) Se realizaron pruebas de concentración de antioxidante y su degradación durante el tiempo: Se deseaba encontrar la concentración óptima para estabilizar el aceite por un periodo de 14 días, los cuales son el máximo de tiempo que se almacena el aceite en planta. Esto se realizó obteniendo cinco muestras de aceite refinado sin antioxidante y agregando concentraciones conocidas (0, 50, 100, 150 y 200 ppm) de antioxidante, lo cual se comprobó a través del método para determinación de TBHQ (ver anexo 12.1). Estas muestras se dejaron almacenadas y se midió la formación de ácidos grasos libres durante el tiempo de almacenamiento (14 días), en recipientes ámbar, cerrados y a temperatura controlada. Esta medición de la formación de ácidos grasos libres se hará a través del método de índice de acidez (ver Anexo 12.2).
- 2) Se determinó la concentración de TBHQ óptima para el tiempo de almacenamiento: La muestra que poseía una degradación significativamente menor (utilizando ANOVA con un intervalo de confianza del 95%) durante su almacenamiento se eligió como la concentración óptima de antioxidante, estas concentraciones no debían sobrepasar la concentración máxima de 200 ppm regida por el Reglamento Centro Americano. Alimentos y bebidas procesados. Grasas y aceites. Especificaciones (RTCA, 2007).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Tabla 1. Porcentaje de acidez de cada concentración de TBHQ durante 14 días de almacenamiento

Día	0	50	100	150	200
0	0,0544	0,0544	0,0544	0,0544	0,0544
2	0,0636	0,0636	0,0544	0,0544	0,0544
4	0,0726	0,0636	0,0544	0,0544	0,0544
6	0,0726	0,0636	0,0544	0,0544	0,0544
8	0,0762	0,0635	0,0635	0,0635	0,0635
10	0,0762	0,0635	0,0635	0,0635	0,0635
12	0,0726	0,0726	0,0635	0,0635	0,0635
14	0,0817	0,0817	0,0726	0,0726	0,0635

Fuente: Elaboración propia, 2013

Tabla 2. Cuadro de valores para el cálculo de ANOVA utilizando los 5 grupos de concentraciones

Concentraciones	N	Media	Desviación estándar	n*y*	SCE			SCD	
					y*- \bar{y}	(y*- \bar{y}) ²	n*(y*- \bar{y}) ²	(n*-1)	(n*-1)*s ²
0	8	0,07124	0,00851	0,56989	0,0080	0,00006	0,00051	7	0,00051
50	8	0,06579	0,00806	0,52635	0,0026	0,00001	0,00005	7	0,00045
100	8	0,06009	0,00677	0,48070	-0,0031	0,00001	0,00008	7	0,00032
150	8	0,06009	0,00677	0,48070	-0,0031	0,00001	0,00008	7	0,00032
200	8	0,05895	0,00486	0,47160	-0,0043	0,00002	0,00015	7	0,00017
Total	40	0,06323	0,00521	2,52924	--	--	0,00087	--	0,00177

Fuente: Elaboración propia, 2013

Tabla 3. Resultados de ANOVA utilizando los 5 grupos de concentraciones

Hipótesis nula	Las medias son iguales
Hipótesis alterna	Al menos una media es diferente
F	4,30
F en tabla al 95%	2,65
Se rechaza hipótesis nula, al menos una media es diferente	

Fuente: Elaboración propia, 2013

Tabla 4. Cuadro de valores para el cálculo de ANOVA utilizando los 3 grupos de concentraciones

Concentraciones	N	Media	Desviación estándar	n*y*	SCE			SCD	
					$y^* - \bar{y}$	$(y^* - \bar{y})^2$	$n^*(y^* - \bar{y})^2$	$(n^* - 1)$	$(n^* - 1) * s^2$
50	8	0,06579	0,00806	0,52635	0,00418	0,00002	0,00014	7	0,00045
100	8	0,06009	0,00677	0,48070	-0,0015	0,00000	0,00002	7	0,00032
200	8	0,05895	0,00486	0,47160	-0,0027	0,00001	0,00006	7	0,00017
Total	24	0,06161	0,00367	1,47865	--	--	0,00022		0,00094

Fuente: Elaboración propia, 2013

Tabla 5. Resultados de ANOVA utilizando los 3 grupos de concentraciones

Hipótesis nula	Las medias son iguales
Hipótesis alterna	Al menos una media es diferente
F	1,37
F en tabla al 95%	2,65
Se acepta la hipótesis nula, todas las medias son iguales	

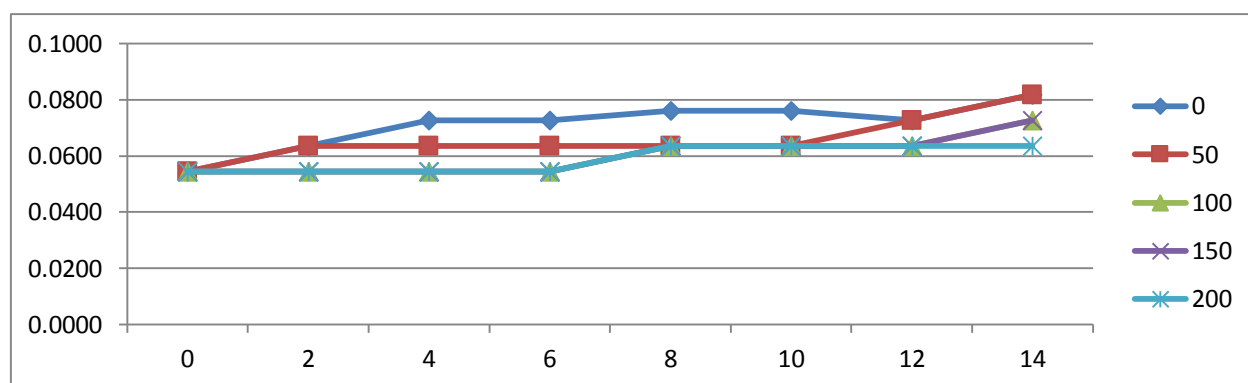
Fuente: Elaboración propia, 2013

Se realizó un análisis experimental en el cual se buscaba observar el comportamiento de degradación del aceite de fritura con 5 diferentes concentraciones de antioxidante sintético TBHQ. Se colocó un control y 4 concentraciones conocidas del antioxidante y se determinaron los ácidos grasos libres durante un periodo de tiempo.

El objetivo de este análisis experimental era conocer la concentración necesaria de antioxidante para mantener el aceite en óptimas condiciones durante 14 días de almacenamiento que se tiene estipulado.

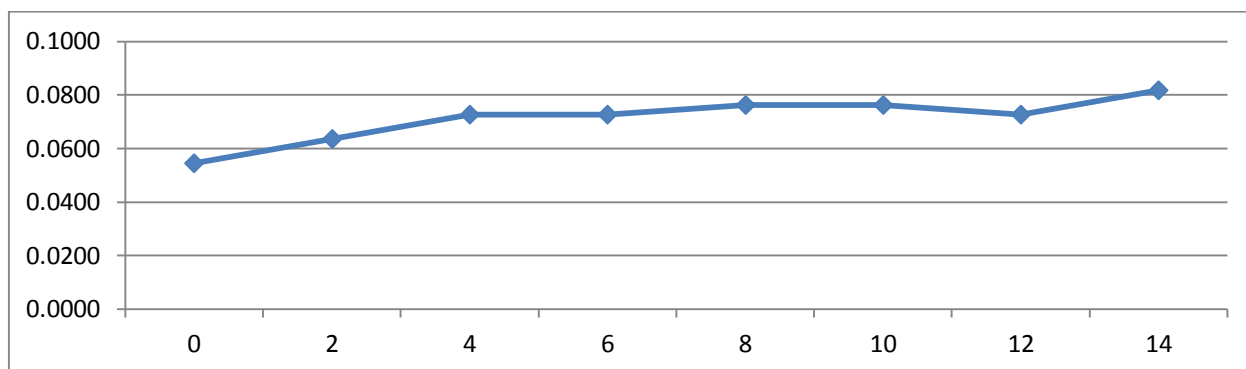
Se establecieron las concentraciones a estudiar tomando en cuenta la concentración máxima permitida por el Reglamento Técnico Centroamericano, la cual es de 200 ppm. También se tomó en cuenta la degradación máxima de 0,07 % de ácidos grasos libres establecida por la empresa.

Gráfica 1. Acidez de aceite con 5 diferentes concentraciones de TBHQ: 0, 50, 100, 150 y 200 ppm.



Fuente: Elaboración propia, 2013

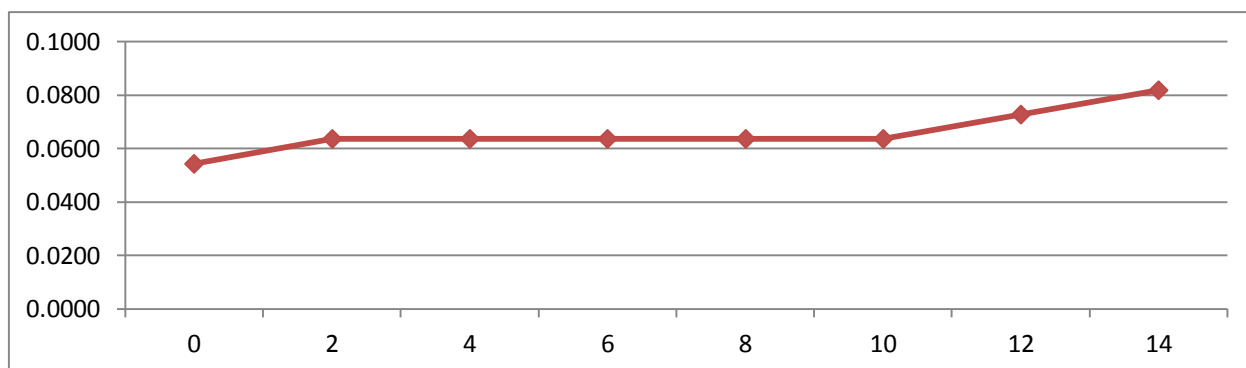
Gráfica 2. Acidez de aceite con concentración de 0 ppm (control) de TBHQ.



Fuente: Elaboración propia, 2013

Como se puede observar en la gráfica control (gráfica 2), existió una mayor degradación que en las demás concentraciones, hasta una degradación final de 0,0817% de acidez. Esto demuestra la conocida funcionalidad de la Ter-butilhidroquinona (TBHQ) en aceites vegetales. Se ha demostrado anteriormente que el TBHQ es el antioxidante sintético con mejores resultados para la preservación del aceite en almacenamiento comparado con otros antioxidantes como el BHA, BHT, etc.

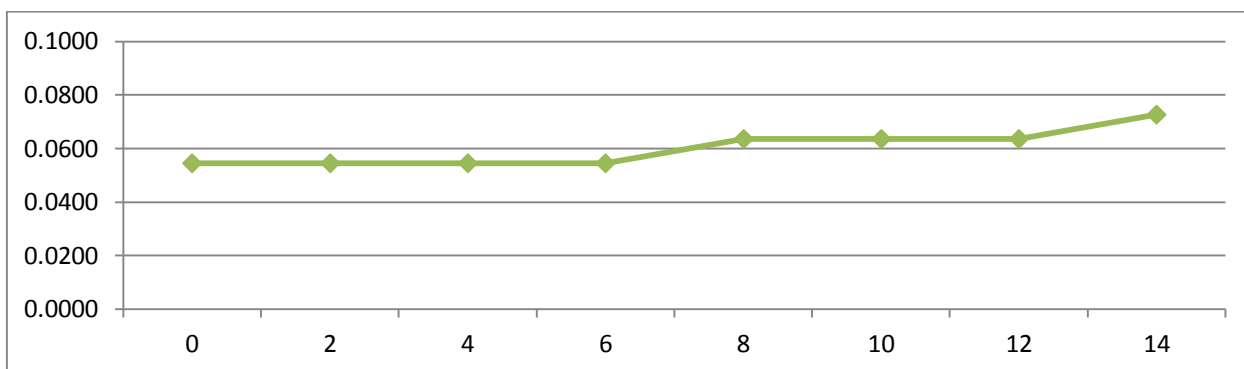
Gráfica 3. Acidez de aceite con concentración de 50 ppm de TBHQ.



Fuente: Elaboración propia, 2013

En la segunda concentración de 50 ppm (gráfica 3) presentó degradación a partir del segundo día de la prueba, con esto se muestra que el antioxidante no logró mantener estable el aceite durante este período corto de tiempo. Para esta concentración de antioxidante se observó una degradación final de 0,0817 % al igual que la muestra de control sin antioxidante, por lo que se considera que esta concentración no es recomendable para aceite en almacenamiento.

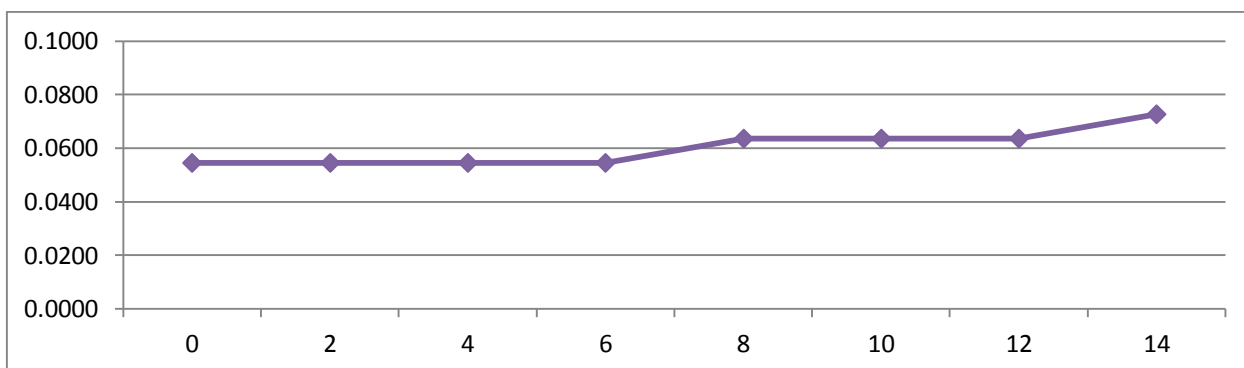
Gráfica 4. Acidez de aceite con concentración de 100 ppm de TBHQ.



Fuente: Elaboración propia, 2013

Con la muestra de 100 ppm (gráfica 4) mostró una estabilidad positiva. Se observó el inicio de degradación en el día 8, al igual que la muestra con la máxima concentración permitida de TBHQ. En esta muestra se obtuvo una degradación final de 0,0726 % al día 14. Esta muestra se puede tomar como un resultado positivo ya que se encuentra en el máximo de degradación permitida para el uso de aceite en planta durante el período de prueba.

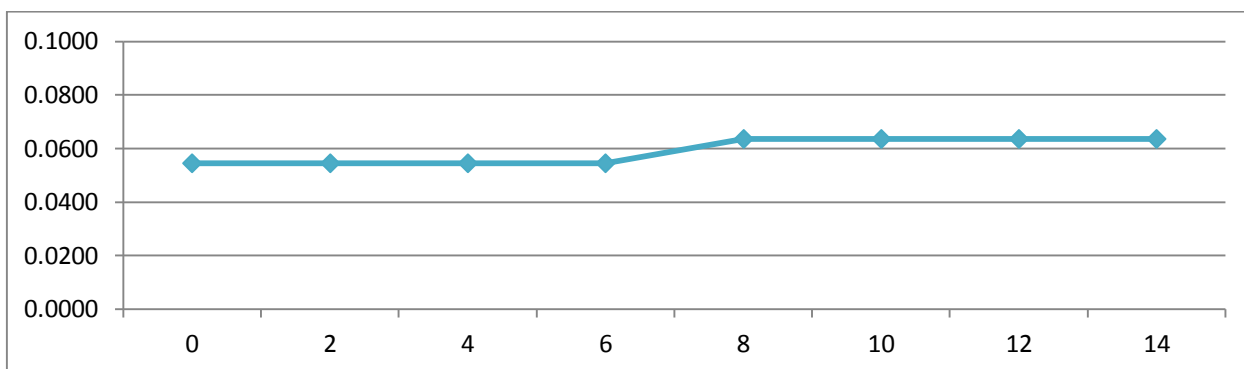
Gráfica 5. Acidez de aceite con concentración de 150 ppm de TBHQ.



Fuente: Elaboración propia, 2013

En la muestra de 150 ppm (gráfica 5) se puede observar que el comportamiento es exactamente el mismo que la muestra con 100 ppm, por lo que se podría concluir que no es necesario agregar esta cantidad extra de antioxidante, ya que el resultado es lo suficientemente bueno para no incurrir en costos extra al agregar más antioxidante.

Gráfica 6. Acidez de aceite con concentración de 200 ppm de TBHQ.



Fuente: Elaboración propia, 2013

La muestra con 200 ppm (gráfica 6) fue la que mostró mejor estabilidad ya que la formación de ácidos grasos libres al final de la prueba experimental fue de 0,0635 %. Esta concentración es la máxima permitida por el RTCA, por lo que si es posible disminuirla sería favorable para la empresa.

Para determinar la concentración óptima de antioxidante, se realizó un análisis estadístico para comparar las muestras entre sí. Se hizo el análisis de varianza utilizando las 5 muestras de datos obtenidos (tabla 2 y 3, pag. 15) con un 95% de confianza. Al hacer este análisis se pudo observar que al menos una de las medias era diferente, lo cual indica que la degradación del aceite se dio de forma diferente en al menos una de las muestras.

Se repitió el análisis excluyendo la concentración de 0ppm y la de 150 ppm (tabla 4 y 5). La concentración de 150 ppm no se tomó en cuenta debido a que los datos son exactamente iguales a los de 100ppm (tabla 1), por lo que se decidió trabajar únicamente con la de 100 ppm. El resultado obtenido excluyendo estas concentraciones, es que todas las medias son iguales. Esto indica que las muestras se degradaron de igual manera. Se puede concluir que en definitiva se necesita utilizar TBHQ para el almacenaje de aceite de fritura, así mismo se puede utilizar desde 50 hasta 200 ppm obteniendo estadísticamente el mismo resultado de estabilidad.

Se descartó la concentración de 50 ppm, debido a que en el día 14 supera el 0,07% establecido por la empresa (tabla 1). Por lo tanto, se determinó que la concentración de 100 ppm de TBHQ es la más recomendable, ya que es la menor concentración que mantuvo el porcentaje de acidez por debajo del máximo permitido por la empresa en términos de calidad y cumple con las regulaciones del Reglamento Técnico Centroamericano.

8. CONCLUSIONES

1. La concentración óptima de TBHQ que debe utilizarse es de 100 ppm, la cual no muestra diferencia estadísticamente significativa con los resultados de degradación de la muestra 200 ppm de TBHQ, máximo permitido por el RTCA.
2. La concentración de 100 ppm estabiliza el aceite por debajo del límite de 0,07% de acidez durante 14 días de almacenamiento.
3. La muestra de aceite de fritura control, la cual no contenía antioxidante, presentó una degradación de 0,0817 % al final del tiempo de almacenamiento, mostrando la necesidad del uso de antioxidante TBHQ.
4. La muestra de aceite la cual contiene una concentración de 50 ppm mantiene el aceite estable durante el tiempo de almacenamiento, según el método estadístico ANOVA, sin embargo sobrepasa el límite permitido por la empresa de degradación máxima. Por esta razón dicha concentración es descartada.
5. Se determinó por medio de un sistema de almacenamiento teórico que la capacidad de los tanques debe ser de 11, 000 Kgs o 12 m³. Con esto se logra almacenar un lote de aceite en dos tanques, mejorando la rotación y trazabilidad del mismo.
6. Se debe poseer un sistema de calefacción eficiente para contener el aceite en su estado líquido, por el porcentaje de saturaciones es necesario mantener el aceite a una temperatura por encima de su punto de fusión lo que ayudará a mantener el sistema sin remanentes de degradación para el aceite.



9. RECOMENDACIONES

1. El uso de antioxidante TBHQ es imprescindible para el almacenamiento de aceite de fritura.
2. Se debe reducir la concentración de 200 ppm de TBHQ a 100 ppm, esto ayudará a cumplir con el Reglamento Técnico Centro Americano, así como a un ahorro de costos.
3. Es necesario considerar 14 días como el máximo de tiempo que un aceite puede ser almacenado en el sistema actual.
4. Evaluar las modificaciones necesarias para mejorar el sistema actual de almacenamiento de aceite, aumentar la capacidad por tanque y mejorar su sistema de calefacción para reducir la degradación y aumentar el control sobre cada lote. (Ver anexo 14.3, pág. 30).

10. BIBLIOGRAFÍA

- 1) Badui Dergal, S. 2006. Química de los Alimentos. 4 ed. México, D. F. Pearson Education. 376 p.
- 2) Barrera-Arellano, D. 1998. Estabilidad y utilización de nitrógeno en aceites y grasas. Grasas y Aceites. DTA Facultad de Engenharia de Alimentos. España. Vol. 49. Fascículo 1, 55-63 p.
- 3) Brody, A.L. 1996. Envasado de alimentos en atmósferas controladas, modificadas y a vacío. Zaragoza, España. Acribia. 213 p.
- 4) Gould, W.A. 1994. Current good manufacturing practices, food plant sanitation. Baltimore, USA. CTI. 400 p.
- 5) Graciani Constante, E. 2003. Los aceites y grasas: composición y propiedades. Sevilla, España. Mundi-Prensa. 316 p.
- 6) López-Gómez, A. 2005. Food plant design. Boca Raton, USA. Taylor & Francis. 388 p.
- 7) Matz, S. 1984. Snack food technology. West Port, USA. Avi. 415 p.
- 8) Ministerio de Protección Social. 2010. Resolución número 2195. (En línea) Consultado 14/4/2013. Disponible en: http://members.wto.org/crnattachments/2010/sps/COL/10_2556_00_s.pdf
- 9) National Cottonseed Products Association. 2002. Glosario. (En línea) Consultado 14/4/2013. Disponible en: <http://www.cottonseed.com/enespanol/glossary.asp>
- 10) Reglamento Técnico Centroamericano. 2007. Alimentos y bebidas procesados. Grasas y Aceites. Especificaciones. Costa Rica. RTCA 67.04.40:07. 22p.
- 11) Stauffer, C.E. 1996. Fats and oils. St. Paul, USA. Eagan Press. 149 p.
- 12) Universidad de Talca. 2013. Comparación de varios tratamientos o grupos. (En línea) Consultado 04-09-2013. : <http://dta.utalca.cl/estadistica/ejercicios/interpretar/Metodos/anova.pdf>
- 13) Walpole, R.; Myers, R. y Ye, K. 2002. Probability and Statistics for Engineers and Scientists. USA. Pearson Education. 326 p

14) Weiss, T.J. 1983. Food oils and their uses. Westport, USA. Avi. 310 pp.



Vo. Bo. Licda. Ana Teresa de González
Bibliotecaria

11. GLOSARIO

Ácidos grasos libres: Son un grupo de compuestos químicos caracterizados por poseer una cadena hecha de carbón e hidrógeno y que poseen un grupo de ácido carboxílico (COOH) en un extremo de la molécula. Se diferencian entre ellos por el número de átomos de carbono y el número y posición de los enlaces dobles en la cadena. Cuando no se encuentran unidos a otros compuestos se denominan ácido grasos libres. (National Cottonseed Products Association, 2002)

Ácidos grasos monoinsaturados: Es un ácido graso que tiene un doble enlace (C=C) en la cadena de carbón. Un ejemplo de ello es el ácido oléico. (National Cottonseed Products Association, 2002)

Ácidos grasos poliinsaturados: Es un ácido graso que tiene más de un enlace doble (C=C) en la cadena de carbono. Un ejemplo es el ácido linoléico. (National Cottonseed Products Association, 2002)

Ácidos grasos saturados: Se trata de una cadena de carbón en la cual los carbonos están conectados por un enlace simple uno al otro, identificado como C-C. No tiene enlaces dobles carbono-carbono. (National Cottonseed Products Association, 2002)

Antioxidantes: Compuestos que pueden inhibir el desarrollo de la oxidación que es la causante de la rancidez. (National Cottonseed Products Association, 2002)

Emulsificantes: Material que disminuye la energía superficial entre dos fases inmiscibles (aceite y agua) de manera que facilita la dispersión de una fase sobre la otra. (National Cottonseed Products Association, 2002)

Espacio de cabeza: Es la distancia vertical entre el nivel del producto (generalmente la superficie del líquido) en el envase rígido colocado verticalmente y el borde superior del envase. (Ministerio de protección social, 2010)

Fosfolípidos: Es un componente natural de las grasas que tiene un fosfato éster asociado con el glicérido. Es un surfactante que ayuda en la emulsificación. (National Cottonseed Products Association, 2002)

Freído: Proceso de cocción de alimentos por inmersión en un aceite o grasa comestible que está a una temperatura superior al punto de ebullición del agua, por lo general 160 a 200 ° C. Se da una deshidratación del alimento, en el caso de carnes es parcial y en frituras es casi total, lo que ocasiona la absorción de aceite

en los espacios que deja el agua. Cuando está bien realizado el proceso y a la temperatura adecuada, el resultado es un alimento seco, crujiente y dorado. (Badui, 2006)

Hidrólisis: Se trata de una reacción química en la cual una sustancia reacciona con el agua de manera que es convertida en una o más sustancias tal como sucede con las grasas naturales que se transforman en glicerol y ácidos grasos. (National Cottonseed Products Association, 2002)

Oxidación: Se trata de una reacción química en la cual el enlace doble de la molécula del lípido reacciona con el oxígeno produciendo una variedad de productos químicos. Las consecuencias de esta reacción son una disminución del valor nutricional del alimento y la formación de sabores no deseables acompañados de rancidez. (National Cottonseed Products Association, 2002)

Punto de fusión: Se trata de la temperatura en la cual un sólido se convierte en líquido. Debido a que las grasas son una mezcla de compuestos, ellas tienden a derretirse en un rango amplio de temperaturas. La temperatura de fusión específica se determina cuando se calienta una grasa y se anota la temperatura a la cual se observa un evento específico que coincide con su conversión a la fase líquida. (National Cottonseed Products Association, 2002)

Punto de humeo: Es la temperatura en la que se forman compuestos de degradación, visibles y depende de los ácidos grasos libres en la grasa. Son compuestos volátiles otorgan al alimento un gusto desagradable. Por encima del punto de humeo surge el punto de ignición, donde comienza la combustión. (Badui, 2006)

Rancidez oxidativa: Es el deterioro más común en las grasas y aceites y se refiere a la oxidación de los ácidos grasos insaturados pero también se presentan en otros compuestos de interés biológico, como vitamina A y carotenoides. En la oxidación se generan compuestos que mantienen y aceleran compuestos de degradación que transfieren el olor típico de grasas oxidadas. (Badui, 2006)

TBHQ: Ter – Butil Hidroquinona. (Badui, 2006)

Valor del peróxido: Es un número que indica el nivel de peróxidos que se han desarrollado como resultado de la oxidación de una grasa o aceite. Los peróxidos son considerados compuestos intermediarios en el esquema de reacción de la oxidación de los lípidos. (National Cottonseed Products Association, 2002)

12. ANEXOS

12.1. Método para la determinación de TBHQ

- 1) Pesar 10 gramos de aceite en Erlenmeyer de 250 ml.
- 2) Medir 50 ml de metanol y agregar la muestra de aceite.
- 3) Agitar por 15 minutos a temperatura ambiente, velocidad moderada.
- 4) Dejar reposar por 15 minutos hasta que se separen las dos fases.
- 5) Tomar 2 ml de sobrenadante de la mezcla anterior y agregar 8 ml de metanol, colocar en tubo de ensayo
- 6) En otro tubo de ensayo colocar 10 ml de metanol, utilizado como blanco.
- 7) Agregar 5 ml de Dimetilamina al 40% a cada tubo de ensayo y agitar vigorosamente.
- 8) Reposar por 15 minutos exactos y agregar 10 ml de N-butanol a cada tubo.
- 9) La muestra del paso cinco debe tomar un color amarillo claro. Medir en el espectrofotómetro a 500 nm la muestra y el blanco
- 10) Utilizar la fórmula para conocer la concentración según la absorción obtenida.

$$\text{ppm de TBHQ} = (A * v_1) / (k * v_2 * W)$$

A=absorbancia de la muestra

V1= ml de metanol usados

K= constante de calibración= 0.000946

V2= ml extracto de metanol

W= peso de la muestra en g

12.2. Método de determinación de ácidos grasos libres

- 1) Pesar 56 g de muestra en beaker de 200 ml.
- 2) Medir 50 ml de alcohol etílico 95 % en la probeta.
- 3) Calentar alcohol a (35-40)°C en Erlenmeyer de 250 ml, no sobrecalentar para evitar evaporación del alcohol y agregar 3 gotas de fenolftaleína.
- 4) Agregar alcohol caliente a la muestra de aceite en Erlenmeyer y homogenizar la muestra con el agitador magnético por 20 segundos.
- 5) Titular la muestra con hidróxido de Sodio 0,1 N. Al observar un viraje de color rosado suave tomar tiempo (30 segundos) y determinar el gasto de hidróxido de sodio. Si se torna color rosado fuerte, realizar todos los pasos nuevamente
- 6) Determinar en base a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Acidez (Ac. oleico)} = \frac{V(\text{ml}) \times N (\text{NaOH})}{(\text{ml} \times (0,282 \text{ mg})) / (\text{Peso muestra} \times 100)}$$

V= volumen de NaOH gastado.

0,282 mg = peso de fenolftaleína.

N = Normalidad del NaOH (0,1N)

12.3. Rediseño de sistema de almacenamiento de aceite

12.3.1. Marco Teórico

12.3.1.1. Diseño de equipo

Las buenas prácticas de manufactura indican que todos los equipos y utensilios deben tener un diseño y ser contruidos de un material que permitan que éstos sean fáciles de limpiar y de darles mantenimiento. Algunos fundamentos básicos son los siguientes (Gould, 1994):

- Las superficies de contacto del equipo y utensilios deben ser contruidas de acero inoxidable u otros materiales que sean suaves, impermeables, no tóxicos, anticorrosivos, no absorbentes y durables en condiciones normales de uso. (Gould, 1994)
- Las superficies de equipos deben ser fáciles de limpiar y libres de roturas, costuras abiertas, grietas o defectos similares. (Gould, 1994)
- Las superficies de equipos deben ser inertes a los alimentos bajo las condiciones normales de uso y no debe transmitir ningún olor, color, sabor o sustancia adulterante a los alimentos. (Gould, 1994)
- Las superficies en contacto con los alimentos debe ser accesible para limpieza e inspección, ya sea por puertas de acceso, cubiertas removibles o desmontaje completo. (Gould, 1994)
- Todas las superficies de contacto con el producto deben estar libres de huecos, callejones sin salida, costuras abiertas y huecos, grietas, cornisas salientes, fibras internas, desniveles internos, tornillo y/o remaches. (Gould, 1994)
- Los equipos deben tener un diseño que elimine espacios muertos o áreas que acumulen suciedad, bacteria, mohos, levaduras y otros microorganismos. (Gould, 1994)
- Todos los equipos deben ser instalados de tal forma que haya tres pies a su alrededor que funciona como área de trabajo. (Gould, 1994)
- Las superficies de los equipos deben ser diseñadas para proteger a los alimentos de contaminación externa, incluyendo pernos, lavadores, juntas y otros contaminantes externos. (Gould, 1994)
- Los equipos deben ser instalados con un mínimo de seis pulgadas por encima del suelo, con soportes preferiblemente tubular. (Gould, 1994)
- Todos los motores en una planta de alimentos deben estar completamente cerrados, a prueba de explosiones y sellados para prevenir el ingreso de humedad, polvo o plagas. (Gould, 1994)
- Ningún motor o mecanismos de accionamiento deben estar montados sobre superficies en contacto con alimentos. (Gould, 1994)

- Todas las válvulas deben ser fácilmente desmontadas para limpieza e inspección. (Gould, 1994)
- Todas las tuberías deben estar alineadas y apoyadas para prevenir dobleces o cualquier otro impedimento para el flujo de producto, y deben permitir el auto-drenado. Todas las esquinas deben tener un radio de una pulgada o más. Toda la tubería se debe remover para limpieza e inspección. (Gould, 1994) Se prefieren tuberías soldadas a tuberías enroscadas, ya que estas últimas pueden crear zonas difíciles de limpiar. (López-Gómez, 2005)
- Toda la tubería que pasa a través de paredes, pisos, techos u otras estructuras permanentes deben terminar en una conexión accesible al menos a un pie de la pared. La abertura en la estructura debe estar a prueba de roedores. (Gould, 1994)
- Todos los medidores deben ser contruidos e instalados para que su interior, pistones, flotes u otras partes funcionales sean accesibles para limpieza e inspección. (Gould, 1994)

12.3.1.2. Materiales de construcción

Los materiales de construcción para equipos de procesamiento de alimentos o sistemas auxiliares que están en contacto con los alimentos deben tener ciertas características (López-Gómez, 2005):

- Resistencia a la actividad corrosiva de los alimentos o químicos de limpieza. La corrosión puede ocasionar la contaminación de los alimentos y pérdida de calidad, así como problemas de aroma y sabor. (López-Gómez, 2005)
- Superficie con acabado adecuado para evitar la acumulación de suciedad, como ocurriría en una superficie rugosa. Un acabado muy liso también puede favorecer la estética externa y apariencia higiénica del equipo. (López-Gómez, 2005)
- Buen comportamiento mecánico de acuerdo a las necesidades mecánicas, tales como fuerza estructural, resistencia a la abrasión y cargas de presión. (López-Gómez, 2005)
- Los materiales de construcción deben facilitar la transferencia de calor en operaciones de calentamiento o enfriamiento. (López-Gómez, 2005)
- Fácil ensamblaje utilizando métodos comunes como roscas de tornillo, soldadura, y no requerir técnicas especiales. (López-Gómez, 2005)
- Los materiales deben permitir hacer formas deseadas, en láminas onduladas, láminas y platos, barras, tubería, codos, etc. (López-Gómez, 2005)

El material de construcción en contacto con los alimentos puede ser seleccionado también en base a la agresividad (ácidos, alcalinos o neutros) de los alimentos y los agentes de limpieza utilizados. También es útil conocer si va a haber variaciones en la temperatura de trabajo y el flujo de los alimentos en el material.

Aspectos tales como conductividad térmica también deben tomarse en cuenta si los materiales van a formar parte de un intercambiador de calor. (López-Gómez, 2005)

12.3.1.3. Acero inoxidable

El acero inoxidable exhibe algunas de las características más apropiadas para materiales de construcción utilizados para equipos para procesamiento de alimentos. Es el material más ampliamente utilizado para contacto directo con alimentos. (Matz, 1984)

Antes del uso generalizado del acero inoxidable, se conseguía una resistencia a la corrosión usando capas de estaño aplicadas como un barniz sobre el hierro o cobre. Esta capa delgada de estaño tiene una vida útil muy limitada, ya que tiene una baja resistencia a productos alimenticios corrosivos. Adicionalmente, después que se corroe la superficie, el material es todavía más vulnerable a acciones mecánicas, como abrasión y colisiones durante operaciones de limpieza. (López-Gómez, 2005)

El acabado del acero inoxidable más utilizado es la superficie pulida No. 4, ya que permite fáciles operaciones de limpieza y sanitización, así como niveles adecuados de higiene. También se utiliza como superficie externa en tanques, bombas y otros equipos. (López-Gómez, 2005)

El acero inoxidable se puede hacer resistente a la corrosión si se toma una serie de precauciones durante su manufactura e instalación del equipo en el sistema de producción, diseño del equipo y operación y mantenimiento del equipo. El depósito de materiales extraños en una superficie de acero inoxidable, como residuos de alimentos, agentes de limpieza, partículas y gases externos pueden favorecer a la corrosión. (López-Gómez, 2005)

12.3.1.4. Diseño de tanques

El diseño de tanques de proceso y de almacenamiento para alimentos líquidos debe tener en consideración la facilidad y método de limpieza, ya sea manual o automática. Para la limpieza manual, el diámetro de los tanques horizontales y la altura de los tanques verticales deben permitir el acceso para la limpieza de todas las zonas del tanque. Si se toma en cuenta un sistema de limpieza CIP (clean in place), el diseño de tanque debe tener en consideración la aspersion de los agentes de limpieza. (López-Gómez, 2005)

Las superficies internas y externas de los tanques deben tener un acabado No. 4 de acero inoxidable o equivalente. (López-Gómez, 2005)

El diseño de tanques debe evitar la contaminación externa durante el proceso o almacenamiento. Los accesos desmontables deben asegurar un buen cierre. Se recomienda que los tanques incluyan tapas para inspección y limpieza. Al mismo tiempo, es esencial que las bocas del tanque o tapas no causen drenaje hacia el tanque cuando están abiertas. Si son necesarios agitadores y bobinas para calentar o enfriar adentro del tanque, el arreglo interno de éstos debe permitir la limpieza adecuada e inspección y deben ser fáciles de desmontar. (López-Gómez, 2005)

Para facilitar la limpieza y sanitización de las zonas internas del tanque, se debe evitar una construcción que forme ángulos rectos o puntiagudos. Todas las esquinas internas de las intersecciones pared-suelo y pared-techo deben tener un radio mínimo de dos pulgadas para facilitar la limpieza y sanitización del tanque. También es aconsejable evitar juntas soldadas sobrepuestas cuando sea posible, y éstas deben ser continuas con un material de soldadura de composición similar. (López-Gómez, 2005)

El espesor de las paredes de los tanques debe ser calculado adecuadamente para evitar corrosión por estrés del material de construcción. La evaluación mecánica debe tener en cuenta los agitadores y demás equipo interno del tanque, y su diseño y posición en el tanque debe ser a través de sellos higiénicos para prevenir contaminación de los alimentos por mecanismos, aceites de lubricación y otros materiales extraños. (López-Gómez, 2005)

12.3.1.5. Diseño higiénico de bombas

Las bombas son equipos que tienen un diseño estándar. Algunos tipos de bombas son inherentemente más higiénicas. Las siguientes bombas pueden ser ordenadas de alto a bajos niveles de higiene (López-Gómez, 2005):

- Bomba peristáltica
- Bomba de diafragma
- Bomba centrífuga con impulsor abierto
- Bomba centrífuga con impulsor cerrado
- Bombas rotativas de desplazamiento positivo
- Bombas de émbolo

La selección de bombas debe involucrar criterios económicos, mecánicos e higiénicos. Si la bomba va a desplazar un alto flujo de líquido y tener bajas pérdidas de carga, se deben escoger bombas centrífugas o bombas de desplazamiento positivo. Si la cantidad de fluido bombeado es pequeño o moderado, y las pérdidas de carga son altas, se debe escoger una bomba de desplazamiento positivo como la bomba helicoidal o una bomba de doble rotor de lóbulo. Si la viscosidad del fluido es alta, una bomba de desplazamiento positivo,

como la bomba de efecto doble con pistón rígido debe ser elegida. (López-Gómez, 2005)

12.3.1.6. Diseño higiénico de válvulas

Las válvulas también pueden ser clasificadas de acuerdo al diseño y tipo, en orden decreciente al diseño higiénico (López-Gómez, 2005):

- Asiento flexible y cierre de válvulas de tapón
- Válvulas mariposa
- Válvulas de asiento y de bola
- Válvulas de globo
- Válvulas de compuerta
- Válvulas de aguja

De acuerdo a esta clasificación, las válvulas más higiénicas son del tipo de mecanismos que no tienen contacto con alimentos líquidos. Por esta razón, el procedimiento de sellado es muy importante para evitar la entrada de contaminantes externos. Hay diferentes tipos de sellado eficiente, incluyendo diafragma, O-ring y sellos empacados. (Graciani, 2003)

12.3.2. Cálculos para el rediseño del sistema de almacenamiento

Tanque de aceite actual: 8,600 kg

Se utiliza al día un aproximado de 0.75 % de un tanque al día.

$$8,600 * 0.75 = 6,450 \text{ kg/día}$$

Se consume un lote de aceite de 19,000 kg en 3 días

$$\frac{19,000}{6,450} = 2.93 = 3 \text{ días}$$

Volumen del tanque: 12 m³

$$11,000 \text{ kg aceite} \frac{1 \text{ lt}}{0,9014 \text{ kg}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1,000 \text{ lt}} = 12.20 = 12 \text{ m}^3$$

Según el área que se tiene definida para la construcción (12,5 m ancho x 5,5 m frente y 8 m de altura) se decidió que el diámetro del tanque debería ser de 2 metros para que en esta área pudieran caber 4 tanques, con 1m de distancia entre ellos).

$$V = \pi * r^2 * L \quad L = \frac{V}{\pi * r^2} = \frac{12.20}{\pi * 1^2} = 3.88 = 3.9 \text{ m de altura}$$

12.3.3. Discusión

Se propuso el rediseño del sistema de almacenamiento aceite, ya que el actual no cuenta con un diseño óptimo. Éste permite la oxidación del aceite, no posee un sistema eficiente de calefacción y permite remanentes de aceite en el interior de los tanques.

Para establecer el volumen que debían contener los tanques de almacenamiento, se investigó la cantidad de aceite que se utiliza en planta a la semana, las entregas y el volumen que los proveedores tienen la capacidad de entregar. Se determinó que el consumo de aceite de la planta es de 6,450 kg al día (anexo), por lo que se tiene un consumo de aceite aproximadamente 45,000 kg /semana. Adicionalmente, los proveedores entregan el aceite en pipas de 19,000 kg de un mismo lote, por lo que se determinó que la capacidad de los tanques debe ser de 11,000 kg. Esto permite almacenar un lote en dos tanques, con lo cual se mejora el control y trazabilidad del aceite. Además se evita mantener una alta cantidad de aceite por mucho tiempo y durante 3 días se consume por completo el lote de aceite. Al poseer 4 tanques permite tener 2 lotes al mismo tiempo por cualquier eventualidad con alguno de ellos, y da el tiempo necesario para que el proveedor haga la siguiente entrega.

También se debe tomar en cuenta que un sistema óptimo de almacenaje de aceite debe poseer tanques verticales para facilitar la descarga de aceite debido a la columna de presión que el mismo ejerce, evitar remanentes al ser vaciado y reducir el espacio de cabeza el cual facilita la degradación del aceite por las altas concentraciones de oxígeno dentro del tanque.

Los tanques deben tener un volumen de 12,0 m³ para contener los 11,000 kg de aceite, se determinó que deben ser cilíndricos y tener las siguientes medidas: 2,0 m de diámetro y 3,9 m de altura. Los tanques deben de estar en una base de 0,8 m y 0,5 m entre cada uno, lo que permitirá la limpieza regular del área así como el espacio suficiente para trabajos de mantenimiento. El área disponible para la construcción de tanques es de 12,5 m de ancho, 5,5 m de frente y 8,0 m de alto, en la cual se pueden construir los tanques antes descritos y queda espacio disponible para un posible crecimiento del sistema de almacenamiento.

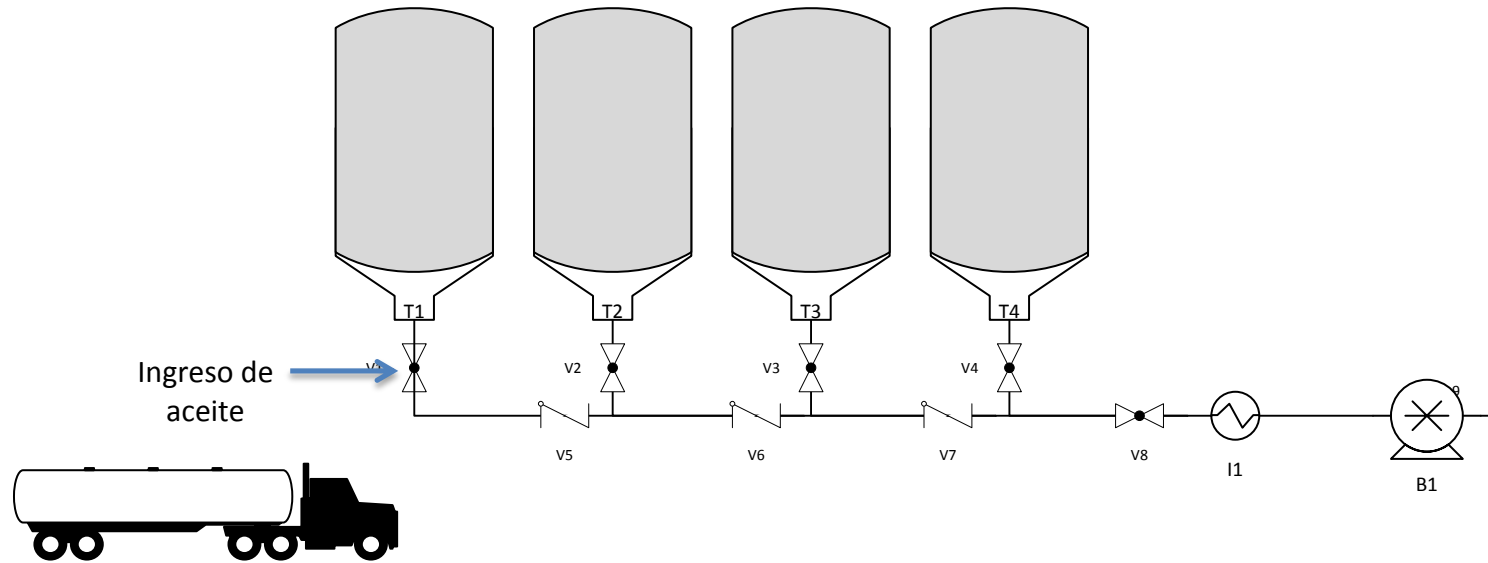
El tanque, por motivo de costos, puede ser de acero con recubrimiento epóxido o peltre. Sin embargo, es ideal que el material de construcción sea acero inoxidable. Estos tanques deben tener un enchaquetado y un sistema de calefacción para incrementar la temperatura del aceite y mantenerlo fluido en todo momento y así facilitar su traslado. Se debe procurar mantener una temperatura de 35-42°C debido a que el punto de fusión del aceite utilizado en la empresa se encuentra entre 34-38°C. La temperatura no debe sobrepasar los 45°C debido a que podría iniciarse una degradación del aceite durante su almacenamiento.

Es recomendable poseer tuberías de acero inoxidable en su totalidad, para evitar la degradación del aceite dentro de las mismas. Entre cada tanque debe existir una válvula cheque que evite el regreso de aceite en la tubería. También debe contener un intercambiador de calor antes de la bomba, cuya función es conservar en estado líquido el aceite a una temperatura de 60 °C aproximadamente. Esto ayuda a mantener las tuberías de carga de aceite limpias, reduce el tiempo de calentamiento del aceite en el freidor previo al proceso así como el consumo de energía para obtener la temperatura óptima de fritura.

Por último el sistema debe tener una bomba de al menos 2 hp de tipo desplazamiento positivo, ya que este tipo de bombas no inyecta oxígeno en el proceso de traslado de aceite a la planta por lo cual no incrementaría la oxidación.

12.3.4. Sistema de almacenamiento de aceite

Figura 1.



Nomenclatura	Equipo/Accesorios
T1, T2, T3, T4	Tanques de almacenamiento
V1, V2, V3, V4, V8	Válvulas de globo
V5, V6, V7	Válvulas cheque
I1	Intercambiador de calor
B1	Bomba de desplazamiento positivo

Fuente: Elaboración propia, 2013

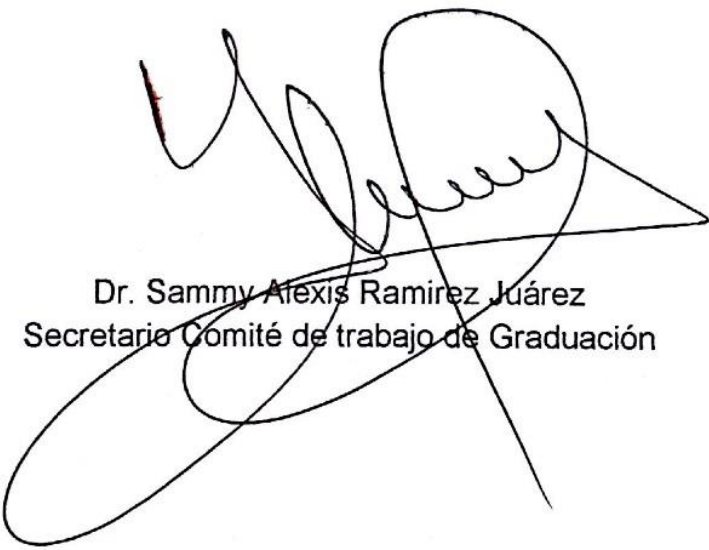
Mazatenango, 24 Febrero 2014

Licda. Gladys Calderón Castilla
Coordinación de Carrera
Ingeniería en Alimentos
Centro Universitario de Sur-Occidente
Presente

Por este medio hago constar que fue revisado el trabajo de graduación "DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DE ANTIOXIDANTE TBHQ EN UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE EN UNA EMPRESA ELABORADORA DE FRITURAS EN CIUDAD DE GUATEMALA" elaborado por Francisco José López Mérida con carné 2008-41329. Se realizaron las correcciones requeridas y se encuentra listo para su aprobación.

Sin ningún otro particular, me despido de ustedes.

Atentamente,



Dr. Sammy Alexis Ramirez Juárez
Secretario Comité de trabajo de Graduación

Mazatenango, Febrero de 2014

Comisión Evaluadora de Trabajo de Graduación
Ingeniería en Alimentos
Centro Universitario de Sur-Occidente
Presente


Por este medio hacemos constar que el trabajo de graduación, Seminario II "DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DE ANTIOXIDANTE TBHQ EN UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE EN UNA EMPRESA ELABORADORA DE FRITURAS EN CIUDAD DE GUATEMALA" cumple con todos los requisitos solicitados por la Comisión evaluadora de trabajo de graduación.

Sin ningún otro particular, me despido de ustedes.


Atentamente.



Dr. Sammy Alexis Ramírez Juárez
Terna Evaluadora



Ing. Qco. Víctor Manuel Nájera Toledo
Terna evaluadora



Inga. Alim. Aurora Carolina Estrada Elena
Terna Evaluadora

Mazatenango 24 de Febrero 2014


Comisión Evaluadora de Trabajo de Graduación
Ingeniería en Alimentos
Centro Universitario de Sur-Occidente
Presente

Estimados Señores:

Por este medio hacemos constar que se revisó el trabajo de graduación "DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DE ANTIOXIDANTE TBHQ EN UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE EN UNA EMPRESA ELABORADORA DE FRITURAS EN CIUDAD DE GUATEMALA " elaborado por Francisco José López Mérida con carné: 200841329. Realizamos las observaciones y estamos de acuerdo con el contenido del mismo.

Sin ningún otro particular, nos despedimos de ustedes.

Atentamente,


Licda. Gladys Calderón Castilla
Químico Biólogo


Inga. María Isabel Aguilera
Ingeniera Química

Licda. Q.B.
Gladys Calderón Castilla
QUÍMICA BIÓLOGA
COLEGIADA NO. 1511

Mazatenango, 24 Febrero 2014

Licenciado
José Alberto Chuga Escobar
Director
Centro Universitario de Sur-Occidente
Presente

Por este medio hago constar que fue revisado el trabajo de graduación "DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DE ANTIOXIDANTE TBHQ EN UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE EN UNA EMPRESA ELABORADORA DE FRITURAS EN CIUDAD DE GUATEMALA" elaborado por Francisco José López Mérida con carné 2008-41329. El trabajo reúne todos los requisitos de investigación que permite optar al título de Ingeniero en Alimentos en el grado académico de licenciado. Solicito la autorización para el imprimase.

Sin ningún otro particular, me despido de ustedes.

Saludos cordiales.


Licda. Gladys Calderón Castilla
Coordinadora Ingeniería en Alimentos





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

CUNSUROC/USAC-I-13-2014

DIRECCIÓN DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE,
Mazatenango, Suchitepéquez, uno de abril de dos mil catorce. _____

Encontrándose agregados al expediente los dictámenes de la Comisión de Tesis y del Secretario del comité de Tesis, SE AUTORIZA LA IMPRESIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN TITULADO: **"DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DE ANTIOXIDANTE TBHQ EN UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE EN UNA EMPRESA ELABORADORA DE FRITURAS EN CIUDAD GUATEMALA"**, del estudiante: **Francisco José López Mérida**, carné **200841329** de la carrera Ingeniería en Alimentos.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

LIC. JOSÉ ALBERTO CHUGA ESCOBAR
DIRECTOR



/gris